



Available online at
SciVerse ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com

Annals of Physical and Rehabilitation Medicine 56 (2013) 527–541



Original article / Article original

Gait characteristics of post-poliomyelitis patients: Standardization of quantitative data reporting

Caractérisation de la démarche de patients post-polio : standardisation de la procédure de collecte des données quantitatives

S. Portnoy^{a,*}, I. Schwartz^a

^a Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Hadassah Medical Center, Mount Scopus, Jerusalem 91240, Israel

^b Department of Occupational Therapy, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

Received 3 February 2013; accepted 29 June 2013

Abstract

Objectives. – To evaluate the differences in gait characteristics and gait symmetry of post-polio syndrome (PPS) patients ambulating with or without shoes and between subgroups walking with different walking aids and orthoses, study the correlation of these data with personal data, illness condition, physical health, frequency of using aids and orthotics and frequency of falls, and derive recommendations for standardization of reporting these data.

Method. – Twenty-six PPS subjects ambulated with their own walking devices. We calculated spatio-temporal parameters and symmetry indices (SI) of gait using a data acquired by a motion capture system. We compared inter-subject differences in gait pattern for PPS groups that differed by questionnaire-obtained data of demographics, physical activity, polio history, falls and walking aids. Additional inter-subject comparisons were performed between normal subjects ($n = 16$), PPS patients walking with shoes with/without an ankle-foot-orthosis ($n = 11$), PPS patients walking with knee-ankle-foot-orthosis ($n = 5$), and PPS patients walking with a walker/crutches ($n = 10$). We also compared intra-subject variability in PPS subjects who were able to repeat the trials barefoot.

Results. – Our main results show that subjects who reported participating in physical activity twice a week or more had significantly better step time and double support symmetry. Subjects who use walking aids on a daily basis had significantly higher gait cadence and shorter stride time. Also, subjects that do not require knee-ankle-foot orthoses and/or walking aids walked with a smaller base width and better symmetry in stance and swing durations than PPS subjects who require these aids.

Conclusions. – The gait pattern of PPS patients is related to numerous intrinsic and extrinsic factors. Standardization of the reporting protocol of gait-related data of PPS patients is crucial for patient evaluation and treatment design.

© 2013 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Computational gait analysis; Rehabilitation; Gait symmetry; Walking aids; Orthotics; Post-polio syndrome; Orthopedic shoes

Résumé

Objectifs. – Évaluer les différences des caractéristiques et de la symétrie de la démarche de patients syndrome post-polio (PPS) se déplaçant avec ou sans chaussures, dans des sous-groupes utilisant différents appareils et orthèses. Étudier la corrélation de ces éléments avec des données personnelles, le degré de sévérité de la maladie, la santé physique globale, la fréquence d'utilisation d'appareils et d'orthèses et la fréquence des chutes. En déduire des recommandations pour la standardisation de la collecte de ces données.

Méthode. – Vingt-six patients PPS se sont déplacés grâce à leurs propres dispositifs d'aide à la marche. Nous avons calculé des paramètres spatio-temporels et des indices de symétrie (IS) de la démarche en nous servant d'informations obtenues par un système de capture de mouvements. Nous avons comparé les différences des schémas de marche entre les sujets répartis en différents groupes PPS en fonction d'éléments recueillis dans des questionnaires axés sur la démographie, l'activité physique, l'histoire de la polio, les chutes et les dispositifs d'aide à la marche. D'autres comparaisons inter-sujets ont été effectuées entre des sujets normaux ($n = 16$), des patients PPS marchant avec des chaussures avec ou sans orthèse

* Corresponding author.

E-mail address: sigalp@hadassah.org.il (S. Portnoy).

cheville-pied ($n = 11$), des patients PPS marchant avec une orthèse genou-cheville-pied ($n = 5$) et des patients PPS marchant avec un déambulateur ou des béquilles ($n = 10$). Nous avons également comparé la variabilité intra-individuelle des sujets PPS en mesure de répéter les tests pieds nus. **Résultats.** – Nos résultats principaux montrent que les sujets ayant une activité physique au moins deux fois par semaine parviennent à un résultat significativement meilleur en terme de temps au bout duquel le pas suivant commence (step time/temps entre les pas) et de symétrie de double appui. Qui plus est, les sujets utilisant quotidiennement des dispositifs d'aide à la marche enregistrent une cadence de marche plus élevée et une foulée significativement plus basse. Enfin, les sujets dont la condition physique ne nécessite pas d'orthèse genou-cheville-pied ou de dispositif d'aide à la marche se déplacent avec moins d'écartement des piedset présentent un délai significativement plus court jusqu'au pas suivant et un double appui plus symétrique

Conclusion. – Les schémas de marche de patients PPS dépendent de nombreux facteurs tant intrinsèques qu'extrinsèques. La standardisation des protocoles de collecte d'informations concernant la démarche des patients PPS est essentielle à l'évaluation des malades et à l'adaptation du traitement.

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Analyse informatique comparative de la démarche ; Rééducation ; Symétrie de la démarche ; Aides à la marche ; Orthotique ; Syndrome post-polio ; Chaussures orthopédiques

1. English version

1.1. Introduction

Post-polio syndrome (PPS) is a lower motor neuron disorder that affects survivors of paralytic poliomyelitis [12]. The disorder emerges following a stable plateau phase lasting several decades after their recovery from the initial virus attack. Although new reported polio infections are quite rare owing to the polio eradication campaign initiated by the World Health Organization in 1988, there currently are more than 12 million individuals worldwide suffering from PPS. It is estimated that up to 80% of individuals who recovered from their acute poliomyelitis infection, report new neuromuscular complaints [6,25]. Apart from psychological distress [23] and joint pain [24], the main symptoms of PPS are progressive weakening of muscles, fatigue, and muscle atrophy [5,6,9,25].

Deterioration in motor abilities is frequently reported in PPS patients [10,25]. The main impact of disability for most PPS patients is in mobility-related activities. Ambulatory individuals find it difficult to climb stairs, walk long distances, and perform various normal daily activities. Clinical management of PPS patients aims to restore mobility by means of physiotherapy, muscle training while avoiding overuse, surgical correction of joint deformities, or administration of orthoses and assistive devices [6,9]. It has been suggested that biomechanical analysis of the PPS gait pattern can lead to optimal design of orthoses for PPS patients [2,6,20].

In light of the need to evaluate the gait characteristic of the PPS patient in order to devise the optimal treatment plan, quantifications of gait parameters may be warranted. Functional tools, e.g. the Timed “Up & Go” test are reliable tools, commonly used to evaluate gait performance [7]. Unfortunately, these tools are not sensitive enough to provide precise quantifications of gait parameters. Therefore, quantitative spatio-temporal parameters are needed in order to assess the effectiveness of gait, i.e. gait symmetry and thereby the patient's risk of falling [4,22]. Also, these parameters are frequently utilized for patient diagnosis, determining the severity of the patient's condition, and predicting and monitoring the outcomes of an intervention [1].

Surprisingly, there is a great paucity in data describing gait of lower motor neuron disease including polio survivors. Importantly, what little data are available is usually lacking better description of the studied PPS group so that the discussion of the results and comparison between studies is compromised. Most studies of PPS gait [1–3,6,13–16,18–21] differ mainly by the inclusion criteria concerning gait and the type of orthotics and walking aids used in the trials. Some of these studies fail to report these crucial data. We therefore aimed to:

- evaluate the differences in gait characteristics and gait symmetry of PPS patients ambulating with or without shoes and between subgroups walking with different walking aids and orthoses;
- study the correlation of these data with personal data, illness condition, physical health, frequency of using aids and orthotics and frequency of falls, and;
- derive recommendations for standardization of reporting of descriptive and quantitative data.

In order to reach these goals, we considered two variables as major outcome measures: barefoot/shod gait and type of walking aid/orthosis. Spatio-temporal parameters and gait symmetry were calculated in order to distinct between the different groups and conclude regarding the effectiveness of shoes and the variability of gait patterns in the different stages of the PPS. We further considered data of demographics, physical activity, polio history, falls and walking aids and its relation to the gait characteristics.

1.2. Methods

1.2.1. Subjects

We recruited 26 PPS out-patients (17 males and nine females; average age and standard deviation 57 ± 10.7 years old; height 164.5 ± 7.4 cm; weight 67.8 ± 10.4 kg; age at the time of initial illness 2 ± 1.6 years old). The PPS was verified according to the March of Dimes Criteria for clinical diagnosis of PPS and met the criteria of PPS according to Halstead [11]. All of the participants demonstrated functional ability to

ambulate with or without walking aids. We also tested a control group of 16 healthy subjects (10 females, six males; age 35.9 ± 11.9 years old; height 169.6 ± 4.5 cm). The trials were approved by a local Helsinki committee (approval number 0544-10-HMO). Each patient read and signed an informed consent form pretrial.

1.2.2. Trial protocol

We developed a motion capture-based protocol for acquiring spatio-temporal data. Four passive light-reflecting markers were placed bilaterally on the calcaneal tuberosity and the distal end of the second metatarsal or on their projection outward when shoes were worn. The motion of the patient was captured using a 4-camera system at a frequency of 120 Hz. All the subjects walked at a chosen comfortable velocity along a 5.5-m long marked path, several times. Each subject was then encouraged to try and walk without shoes if possible, and the trial was repeated. A ceiling-mounted safety harness was applied when a subject had difficulties maintaining balance during gait.

The subjects then answered a questionnaire regarding: gender, age, height, weight, age of initial poliomyelitis infection, childhood history (number of limbs with weakness, scoliosis, orthopaedic surgery, walking aids), marital status, education, physical health, exercise and its frequency during

the last month, current walking aids, orthopaedic shoes, occasionally using a wheelchair, ability to ambulate at home and outdoors, number of falls indoors, number of falls outdoors or on stairs, and working in the last week.

1.2.3. Data processing

The 3D coordinates of the markers were calculated using a commercial software (Simi Motion, Germany). Initial contact and toe-off were marked manually using the video footage. A self-designed code (LabView 11, National Instruments, USA) was used to calculate spatio-temporal parameters (Tables 1–3). Our code automatically calculates the Symmetry Index (SI) for the stance, swing, and double support durations, and the step length and base width according to the following equation [18]:

$$SI[\%] = \frac{X_L - X_R}{\frac{1}{2}(X_L + X_R)} \bullet 100$$

where X_L and X_R are the values of a spatial or temporal parameter of the left and right leg, respectively. The SI ranges between '0' for complete symmetry and '200' for asymmetry.

1.2.4. Statistical analyses

Statistical analyses were performed using SPSS 13.0 (SPSS Chicago, IL, USA). The Mann-Whitney U test was used to

Table 1

P -values of the Mann-Whitney U test between post-polio syndrome (PPS) subject subgroups that differed in spatio-temporal parameters of gait and gait symmetry. The subgroups were divided into two groups according to going through orthopaedic surgery in childhood, usage of walking aids on a daily basis, participating in physical activity more than twice a week, reported fall indoor in the last 6 months and occasionally using a wheelchair.

	Orthopaedic surgery in childhood	Usage of walking aids on a daily basis	Physical activity more than twice a week	Falling indoors in the last 6 months	Occasionally using a wheelchair
<i>Velocity (m/s)</i>	0.148	0.054	0.971	0.016	0.056
<i>Cadence (steps/min)</i>	0.051	0.033	0.971	0.039	0.280
<i>Temporal data (s)</i>					
Stride time	0.097	0.028	0.971	0.039	0.251
Step time	0.060	0.108	0.971	0.046	0.251
Stance duration	0.216	0.108	0.971	0.028	0.156
Swing duration	0.169	0.033	0.857	0.305	0.378
Double support	0.488	0.196	0.491	0.039	0.199
Single support	0.148	0.028	0.801	0.277	0.415
<i>Temporal data (% GC)</i>					
Step time	0.869	0.108	0.227	0.829	0.494
Stance duration	0.869	0.324	0.914	0.096	0.923
Swing duration	0.530	0.790	0.325	0.072	0.721
Double support	0.575	0.700	0.491	0.072	0.626
Single support	0.869	0.533	0.403	0.053	0.626
<i>Spatial data (cm)</i>					
Stride length	0.621	0.295	0.857	0.039	0.047
Step length	0.668	0.268	0.971	0.033	0.047
Base width	0.006	0.324	0.538	0.053	0.056
<i>Foot progression (°)</i>	0.003	0.268	1.000	0.403	0.871
<i>SI</i>					
Step time	0.818	0.123	0.007	1.000	0.673
Stance duration	0.303	0.268	0.446	0.516	0.415
Swing duration	0.668	0.790	0.290	0.781	0.820
Double support	0.717	0.656	0.030	0.877	0.280
Step length	0.921	0.929	0.403	0.033	0.923
Base width	0.818	0.054	0.914	0.477	0.012

Table 2

Spatio-temporal data and symmetry index (SI) of 14 PPS patients walking barefoot (PPS-BRF) and walking with their customary orthotics of either shoes with or without AFO or KAFO (PPS-SHOD). The Wilcoxon 2-related samples test results are presented.

	PPS-BRF	PPS-SHOD	Z	P value
<i>Velocity (m/s)</i>	0.59 (0.19); 0.2–0.86	0.65 (0.21); 0.3–0.98	−0.565	0.572
<i>Cadence (steps/min)</i>	91.1 (11.5); 67.9–108.8	90.7 (10.7); 75–110.8	−0.031	0.975
<i>Temporal data (s)</i>				
Stride time	1.36 (0.18); 1.11–1.79	1.34 (0.16); 1.1–1.6	−0.420	0.675
Step time	0.67 (0.09); 0.55–0.89	0.67 (0.08); 0.54–0.8	−0.157	0.875
Stance duration	0.92 (0.17); 0.73–1.4	0.91 (0.11); 0.75–1.06	−0.455	0.649
Swing duration	0.44 (0.08); 0.32–0.61	0.43 (0.08); 0.35–0.61	−0.189	0.850
Double support	0.24 (0.11); 0.13–0.56	0.24 (0.06); 0.14–0.33	−0.189	0.850
Single support	0.44 (0.09); 0.33–0.65	0.44 (0.08); 0.36–0.61	−0.140	0.889
<i>Temporal data (% GC)</i>				
Stance duration	68.8 (5.0); 60.8–77.8	68.5 (3.7); 61.4–73.8	−0.282	0.778
Swing duration	32.4 (5.2); 22.2–39.2	32.3 (3.7); 26.2–38.6	−0.031	0.975
Double support	17.8 (6.0); 8.6–31.1	17.7 (3.7); 11.5–24.1	−0.094	0.925
Single support	32.4 (6.2); 19.0–43.3	32.6 (3.8); 25.2–38.5	−0.031	0.975
<i>Spatial data (cm)</i>				
Stride length	77.5 (20.9); 40.3–102.8	85.1 (24.5); 41.0–120.4	−1.412	0.158
Step length	38.2 (10.8); 17.9–50.3	42.4 (12.2); 20.8–59.9	−1.413	0.158
Base width	18.2 (5.3); 11.3–27.4	17.3 (7.3); 6.3–29.3	−0.408	0.683
<i>Foot progression (°)</i>	11.6 (12.2); −4.7–32.7	8.5 (10.7); −8.9–23.9	−1.036	0.300
<i>SI</i>				
Step time	20.1 (8.8); 1.9–32.4	13.2 (7.1); 1.1–28.3	−1.852	0.064
Stance duration	14.6 (6.1); 6.3–27.5	10.7 (5.7); 3–22	−1.664	0.096
Swing duration	34.4 (12.9); 13.8–53.7	20.7 (13.7); 5.3–48.2	−2.668	0.008
Double support	26.4 (19.9); 2.2–71.4	24.9 (16.5); 6.5–54.3	−0.282	0.778
Step length	30.9 (29.0); 1.8–108.6	23.0 (14.1); 1.6–43.4	−0.973	0.331
Base width	9.4 (7.8); 0.1–28.6	16.1 (13.9); 0.4–51.1	−1.538	0.124

PPS: post-polio syndrome; GC: gait cycle; AFO: ankle-foot-orthosis; KAFO: knee-ankle-foot-orthosis; SI: symmetry index.

evaluate the differences in spatio-temporal parameters and SI for PPS groups that differed by their answers to the questionnaire. Next, we compared a subgroup of 14 PPS patients who were able to repeat the trials of shod gait with or without orthotics and walking aids (PPS-SHOD) and were able to perform the trial again barefoot (PPS-BRF) using the Wilcoxon 2-related samples test. We then compared results of four groups: normal subjects walking without shoes (NORM; $n = 16$), PPS patients walking with shoes and with or without ankle-foot-orthosis (AFO; study group labeled PPS-SHOE; $n = 11$), PPS patients walking with knee-ankle-foot-orthosis (KAFO; PPS-KAFO; $n = 5$), and PPS patients walking with either a walker or crutches in addition to orthotics and shoes (PPS-AID; $n = 10$). The Kruskal-Wallis test was conducted to compare the effect of shoes, orthotics and walking aids on the spatio-temporal and SI data. We applied the Tamhane post-hoc test to determine which groups differed with regard to their walking aids. $P < 0.05$ was considered statistically significant.

1.3. Results

We found no difference in gait parameters in PPS sub-groups that differed by gender (male or female), age (above or below 60 years old), body mass index ($BMI < 25$ or $BMI \geq 25$), age of initial poliomyelitis infection (< 2 or ≥ 2 years old), childhood history of weakness in number of limbs (both legs

involved or not), walking aids in childhood (yes/no), scoliosis at initial illness (yes/no), education (above or below 12 years), marital status (married or not), perceived physical health (feel healthy or not), exercise during the last month (yes/no), orthopaedic shoes (yes/no), ability to ambulate at home and outdoors (yes with or without difficulty or with aids or assistance or cannot walk), falling outdoors in the last 6 month (yes/no), and working in the last week (yes/no). We did, however, find a connection between several spatio-temporal gait parameters and questionnaire-based subgroups (Table 1). Specifically, PPS subjects who are not using walking aids on a daily basis had significantly higher gait cadence and shorter stride time. Their gait velocity was higher when compared to subjects who did use walking devices on a daily basis, average velocity of 0.673 m/s and 0.454 m/s, respectively, however the difference was not statistically significant. PPS subjects who reported participation in physical activity more than twice a week had better step time and double support symmetry. PPS subjects who did not report falling indoors in the last 6 months had significantly higher gait velocity and cadence, shorter double support stance and step durations, as well as longer step length and better step length SI. PPS subjects who are not using a wheelchair walked with significantly longer step length and had less symmetry of their base width, however only one of these subjects had SI of base width that was above normal. Finally, PPS subjects who went through orthopaedic surgery in

Table 3

Spatio-temporal data and symmetry index (SI) of post-polio syndrome (PPS) patients walking with shoes and with or without AFO (PPS-SHOES), with KAFO (PPS-KAFO), and aids (PPS-AIDS) compared to normal gait (NORM). Results of the Kruskal-Wallis test with the Tamhane post hoc test are presented.

	PPS-SHOES (n = 11)	PPS-KAFO (n = 5)	PPS-AID (n = 10)	NORM (n = 16)	P value
Velocity (m/s)	0.74 (0.14); 0.44–0.98 ^{c,d}	0.42 (0.17); 0.3–0.72 ^d	0.3 (0.26); 0.05–0.89 ^{a,d}	1.09 (0.15); 0.8–1.31 ^{a,b,c}	0.000
Cadence (steps/min)	91.7 (11.7); 75–110.8 ^{c,d}	83.3 (8.4); 70.4–92.7 ^{c,d}	50.0 (23.5); 11.1–90.3 ^{a,b,d}	106.8 (9.0); 90.4–121.6 ^{a,b,c}	0.000
<i>Temporal data (s)</i>					
Stride time	1.33 (0.17); 1.1–1.6 ^d	1.45 (0.17); 1.3–1.73	3.4 (2.9); 1.3–11.1	1.1 (0.1); 1–1.3 ^a	0.000
Step time	0.66 (0.09); 0.54–0.8 ^d	0.73 (0.08); 0.65–0.85 ^d	1.67 (1.41); 0.67–5.43	0.56 (0.05); 0.49–0.66 ^{a,b}	0.000
Stance duration	0.88 (0.11); 0.75–1.05 ^d	1.03 (0.16); 0.87–1.28 ^d	2.69 (2.7); 0.77–9.84	0.69 (0.07); 0.59–0.85 ^{a,b}	0.000
Swing duration	0.45 (0.08); 0.35–0.61 ^c	0.42 (0.07); 0.36–0.53 ^c	0.72 (0.23); 0.52–1.31 ^{a,b,c}	0.43 (0.04); 0.34–0.51 ^c	0.000
Double support	0.21 (0.04); 0.14–0.29 ^d	0.31 (0.09); 0.17–0.43	0.99 (1.19); 0.11–4.03	0.13 (0.03); 0.09–0.18 ^a	0.000
Single support	0.45 (0.08); 0.36–0.61 ^c	0.42 (0.07); 0.36–0.53 ^c	0.72 (0.23); 0.52–1.31 ^{a,b,d}	0.43 (0.04); 0.34–0.51 ^c	0.000
<i>Temporal data (% GC)</i>					
Stance duration	67.4 (3.4); 61.4–72.8 ^d	71.7 (2.9); 66.9–74.1 ^d	74.3 (7.5); 65–88 ^d	61.8 (1.7); 59.1–65.5 ^{a,b,c}	0.000
Swing duration	33.6 (3.0); 30.1–38.6 ^d	29.1 (4.7); 25.9–37.3	27.0 (8.9); 12–39.9 ^d	38.2 (1.7); 34.6–40.9 ^{a,c}	0.000
Double support	16.4 (3.0); 11.5–21.3 ^d	20.4 (5.7); 10.7–24.6	25.2 (11.3); 10.1–46.5 ^d	11.7 (1.7); 8.75–14.64 ^{a,c}	0.000
Single support	34.0 (2.7); 30.4–38.5 ^d	29.3 (5.5); 25.2–38.8	26.4 (8.7); 11.6–38.2 ^d	38.1 (2.0); 34.6–41.5 ^{a,c}	0.000
<i>Spatial data (cm)</i>					
Stride length	95.6 (14.7); 68.4–120.4 ^d	61.2 (23.9); 41.0–101.3 ^d	65.6 (27.5); 33.1–116.8 ^d	123.0 (10.9); 107.0–144.1 ^{a,b,c}	0.000
Step length	47.6 (7.5); 33.1–59.9 ^{c,d}	30.6 (12.1); 20.8–51.1 ^d	31.6 (14.2); 18.2–59.4 ^{a,d}	60.8 (5.0); 53.2–69.4 ^{a,b,c}	0.000
Base width	14.9 (6.2); 6.3–27.5 ^b	24.3 (4.5); 17.3–29.3 ^{a,d}	21.1 (9.4); 5.6–35.7 ^d	10.6 (3.3); 6.5–20.1 ^{b,c}	0.001
Foot progression (°)	10.8 (9.5); –4.9–23.9	5.5 (12.1); –8.9–18.3	7.1 (10.3); –10.9–26.1	6.5 (3.2); 1.2–13.3	0.447
<i>SI</i>					
Step time	11.5 (5.6); 1.1–21.3 ^d	19.4 (12.2); 5.2–33.6	61.3 (62.3); 4.2–219.7	4.1 (2.8); 0.2–11.2 ^a	0.000
Stance duration	9.2 (5.3); 3.0–22.0 ^{b,d}	17.7 (3.9); 12.4–23.3 ^{a,d}	11.8 (12.2); 0.1–38	2.6 (1.6); 0.5–6.8 ^{a,b}	0.000
Swing duration	14.8 (7.3); 5.3–26 ^{b,d}	46.2 (8.4); 36.8–59.3 ^{a,d}	36.5 (42.1); 9.5–151.6	4.0 (3.6); 0.7–11.8 ^{a,b}	0.000
Double support	27.3 (17.6); 6.5–54.3	22.0 (12.4); 11.2–41.5	121.2 (143.7); 5–450.6	10.9 (9.6); 0–36.1	0.001
Step length	22.0 (15.0); 1.6–43.4 ^d	20.2 (13.1); 4.2–39.5	117.3 (145.8); 0.4–481.5	5.1 (4.2); 0.1–13.4 ^a	0.000
Base width	19.3 (13.9); 3.2–51.1	7.7 (6.9); 0.4–17.5	13.3 (7.4); 1.3–25.6	16.8 (15.8); 0.6–52.8	0.347

PPS: post-polio syndrome; GC: gait cycle; AFO: ankle-foot-orthosis; KAFO: knee-ankle-foot-orthosis; SI: symmetry index.

^a Statistically significant difference compared to PPS-SHOE.

^b Statistically significant difference compared to PPS-KAFO.

^c Statistically significant difference compared to PPS-AID.

^d Statistically significant difference compared to NORM.

childhood walked with a smaller than normal foot progression angle and had significantly wider base width.

The results of intra-subject variability of 14 PPS patients who were able to perform the test with (PPS-SHOD) and without (PPS-BRF) their shoes, orthotics and walking aids are presented in Table 2. Although the mean gait velocity was increased from 0.59 m/s for PPS-BRF to 0.65 m/s for PPS-SHOD, the difference was not statistically significant ($P = 0.572$; Table 2). Among the 14 PPS subjects, only nine walked faster wearing their shoes and orthotics. A similar finding concerns the mean stride length increase from 77.5 cm for PPS-BRF to 85.1 cm for PPS-SHOD (Table 2). Although 11 subjects increased their stride length, the results were insignificant ($P = 0.158$). An example for the difference in step lengths when ambulating barefoot, with shoes, and with orthotics is depicted in Fig. 1. In this figure, sagittal images of a 43-year-old female PPS patient who ambulated without shoes (Fig. 1a), with orthopaedic shoes (Fig. 1b) and with KAFO (Fig. 1c) are presented at the time of right foot heel strike. The step length of the subject was short when she ambulated without shoes and genu recurvatum of the right leg can be seen. When walking with her orthopaedic shoes, the

patient increased her step length by 11.8 cm and when donning the KAFO, the hyperextension of the knee is prevented, however the orthosis imposes a decrease in step length to only 3.6 cm longer than the step length achieved while walking without shoes. All temporal-related SIs decreased when shoes and orthotics were used in the trials (Table 2). The decrease in SI of the swing duration was statistically significant ($P < 0.01$).

When comparing the gait characteristics of PPS patients walking with shoes, with or without AFO (PPS-SHOES), with shoes and KAFO (PPS-KAFO), with shoes, orthotics and with a walker or crutches (PPS-AIDS) and normal gait (NORM), we found significant differences for most of the spatio-temporal parameters of gait and SIs (Table 3). As could be expected, the normal gait was characterized by higher velocity and cadence, shorter stance duration, longer stride and step lengths. These parameters differed statistically for the NORM group when compared to the three PPS groups (Table 3). Other characteristic of normal gait were smaller base width, longer single support duration, and better SI, however the statistical significance was found interchangeably for one or two of the PPS groups (Table 3).

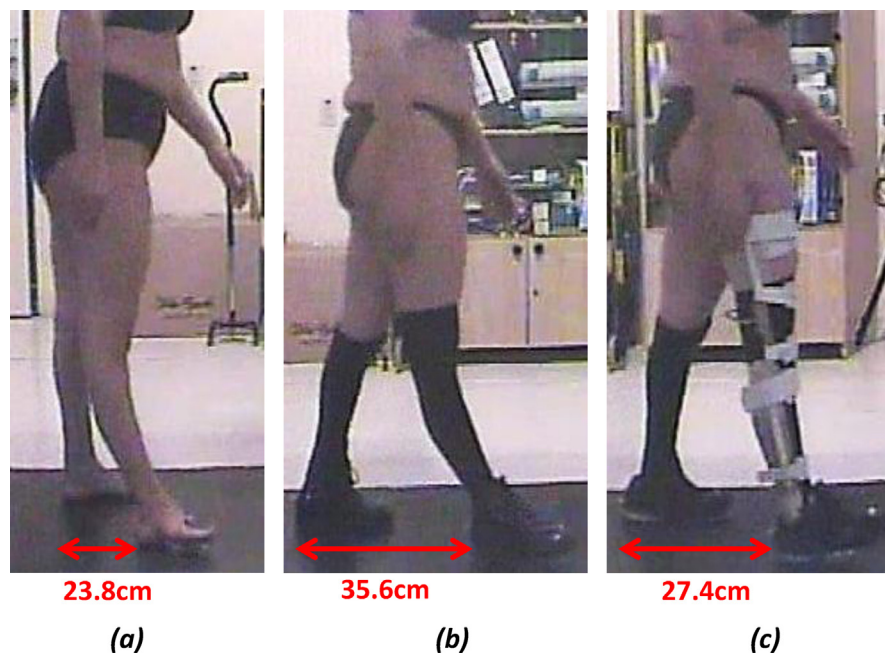


Fig. 1. Sagittal images of a 43-year-old female post-polio syndrome (PPS) patient who ambulated (a) without shoes, (b) with orthopaedic shoes, and (c) with KAFO. The pictures were taken at the time of right foot heel strike. The step lengths are calculated using the algorithm described in subchapter 2.3.1.

The PPS-SHOES group walked with a smaller base width and better symmetry in stance and swing durations when compared to the PPS-KAFO group. They also walked with a higher velocity and cadence, longer stride length and single support duration, however these findings were not found to be statistically significant (Table 3).

The PPS-AID group was characterized by the slowest gait velocity, reduced cadence, long stride time, stance and double support duration, short swing and single support durations, short step length and high SIs. The variability and range of SIs for the PPS-AID was very high.

1.4. Discussion

PPS patients exhibit decreased functional ability, mainly impaired due to gait deficiencies. In addition to the custom functional, clinical and electro-physiological examinations, computational gait analysis provides further insight into the motor function and control of the patient. In this study, we compared spatio-temporal data and gait symmetry of PPS patients ambulating barefoot, with shoes, with orthotics and walking aids and compared them to normal gait. The necessity of exploring these differences arose from the great paucity in data describing the gait of PPS patients and more importantly, the lack of uniformity in reporting the personal characteristics of the study group and the conditions of the trials, compromising the conclusions of comparisons made between different studies of PPS gait.

In our study, the gait pattern of the PPS subjects was not associated with gender, age, BMI, education, and marital status. Also, apart from association with history of orthopaedic surgery at childhood, no correlation was found between gait characteristics and polio history. Most of the subjects

(76.9%) went through corrective orthopaedic surgery at childhood and walked with a significantly smaller than normal foot progression angle and had significantly wider base width. This finding may suggest that altered tendon length at the ankle joints and ankle/foot arthrodesis caused alteration of ankle/foot progression bio-mechanical mechanism, thereby compelling the subject to increase his or her base width to maintain stability and to compensate the lack of bio-mechanical rockers.

The physical health of PPS patients affects their daily activities and participation in the community [26]. In this study, we found that subjects who reported participating in physical activity twice a week or more had significantly better step time and double support symmetry, i.e. lower SI. Gait symmetry and gait double support duration were shown to be the variables most strongly associated with prediction of multiple fallers [13], and we found correlation between reports of falling indoors in the last 6 months and significantly reduced gait velocity and cadence, longer double support stance and step durations, as well as shorter step length and higher step length SI, indicating high asymmetry. These findings suggest that PPS fallers reduce their gait cadence and maintain double support for longer and uncertain distances and likely use walking aids in order to increase their stability and reduce the risk of falling. These taken precautions cost them their velocity of advancing forward as their step length is reduced.

Walking aids and orthopaedic shoes are an integral part in the life of a PPS patient. The deterioration of the motor condition of the PPS patient involves increasing the need of walking aids and orthotics. Although the symptoms of the syndrome vary for each individual, the typical cluster of symptoms comprises mainly of a gradual increase in muscle weakness, particularly but not exclusive to the muscles injured in the initial virus attack. This condition reduces the control of

the patient over his or her joints. Following this first stage of the appearance of the symptoms, the patient will adopt certain motor mechanisms that will compensate for the muscle weakness and allow the PPS patient to continue with daily activities. Since gait asymmetry is now a daily routine in the life of the patient, it imposes alteration of the state of loadbearing on the joints, caused by instability of the joints and prolonged loadbearing on the preferred side, or secondary biomechanical changes. Consequently, joint pain often arises. Coupled with muscle pain as part of the PPS, antalgic gait is common and the gait pattern is affected. At this stage, most patients will require new walking aids and/or orthotics, to be used on a daily basis. These aids will usually restore joint stability, thereby reducing joint pain, allowing the patients to walk longer distances without fatiguing and prevent joint pain.

In this study we found that subjects who use walking aids on a daily basis (69.2%) had significantly higher gait cadence and shorter stride time. Their gait velocity and spatial gait parameters did not significantly differ from subjects who did not use walking aids on a daily basis, although the gait velocity was lower in subjects who daily used walking aids. In an attempt to maintain a high gait velocity, PPS patients who depend on assistive devices increase their cadence. At progressive stages of the PPS, the patient will be less able to walk independently without fatiguing and will resort to using a wheelchair. In our study, although we included only subjects that had functional walking ability with or without walking aids, 26.1% of the subjects reported occasionally using a wheelchair. These subjects had significantly shorter step length, since their physical status was more deteriorated.

When comparing gait characteristics of PPS patients walking with their customary shoes and orthotics and walking barefoot, we found no statistically significant differences, excluding the SI of the swing duration, which was improved for shod gait (Table 1). Although most of the subjects walked faster and increased their stride length during shod gait, the results were not statistically significant. These results suggest that the PPS patients adopt a certain gait pattern, which allows them to optimally compensate for muscle weakness and atrophy, and enables a comfortable gait so that when the shoes and orthotics are doffed, only slight changes in the gait characteristics appear. This conclusion, however, does not imply that the gait pattern of the PPS patient cannot be altered by replacing existing orthotic or walking aid with a new one, but that the patient will require time to acquaint himself or herself with the new restrictions or and liberties provided by the replaced orthotic or aid.

Walking aids and orthotics are prescribed to PPS patients to improve balance during the stance phase and ensure foot clearance in the swing phase so that the risk of falling is minimized. The walking aids also improve endurance, relieve pain and prevent further deterioration of joint degradation [8]. The use of orthopaedic shoes, AFO, KAFO, crutches and walkers, alters the gait pattern by controlling the interaction properties between the shoe and the ground, or decreasing the range of motion of the ankle and knee joints. Although these compensation strategies may enable the patients to make the

most of their residual capacities and keep their mobility, in the long term, these strategies can induce joint degeneration [8].

We found that when compared to normal gait pattern, PPS inter-subject variability was greater and significant differences were evident in most of the spatio-temporal parameters and SIs (Table 3). Our results show that PPS gait is characterized by slower velocity and cadence, prolonged stance duration, and shorter step lengths. Prolonging the stance duration from the mean normal value of 61.8% to mean values of 67.4%, 71.7%, and 74.3% for the PPS-SHOES, PPS-KAFO, and PPS-AID, respectively, was accompanied by shorter swing and single support durations and longer double support duration (Table 3). These temporal data suggest that the subjects felt imbalanced in swinging the leg forward, thereby transferring their entire body load to the other leg. This insecurity relates to the weakness of the muscles that control the body posture and joint stability during load bearing activities and prevent falling.

PPS patients walking with shoes with or without AFO had a smaller base width and better symmetry in stance and swing durations when compared to the PPS patients ambulating with KAFO (Table 3). The locked KAFO is usually prescribed to patients whose symptoms are progressed so that their knee extensors are weak and is crucial for knee stabilization. However, maneuvering with a locked knee unilaterally is designated to produces gait asymmetry. We presented a visual example of the effects of shoes and KAFO on the step length and knee angle in a PPS patient (Fig. 1). This subject has been using the KAFO for the realignment of the femur and tibia. Realignment of limb segment may prove to be harmful as some of the patient's deformities and compensations are beneficial to produce functional gait [8]. Therefore, the choice for prescribing a certain type of orthosis and adjusting its parameters of function can critically affect the gait pattern of the patient. Most orthotics prescribed to PPS patients are KAFO, designed to lock the unstable knee joint [8], therefore augmenting stability during gait. Since the patient cannot flex the knee during swing, this result in compensation in the form of circumduction, vaulting or hip hiking or a combination of these. The design of the stance-control orthosis (SCO) locks the knee during load-bearing state and unlocks during non-load bearing state. Studies have shown that PPS patients walk faster while ambulating with an SCO than with a locked KAFO [17].

PPS patients who require the assistance of a walker or crutches in addition to orthopaedic shoes and/or orthotics are patients whose gait is the most restricted and affected by their deteriorating condition. Accordingly, the gait of these patients who participated in this study, was characterized by the an extremely slow gait velocity, reduced cadence, long stride time, stance and double support durations, short swing and single support durations, short step length and high SIs. The variability and range of SIs for the PPS-AID was very high.

The main limitation of our study is the small sample group; however we were able to show the differences in gait pattern, obviously from normal gait, but more interestingly between sub-groups ambulating with different orthotics and aids. A study of larger population, where PPS patients are divided into groups according to more specific device types will shed more

light on the consequences of prescribing certain orthotics or aids. The presented data herein may already provide the basis for understanding some of the factors, which may link spatio-temporal parameters, gait symmetry, and the progress of the PPS. Another limitation is the single-day measurements that may not be representative of the general gait pattern.

Following the conclusions presented herein, we recommend standardization of the reporting protocol of gait-related data of PPS patients. Studies are usually recruiting small PPS groups, which, as shown herein, have great inter-subject variability so that it is important to present all the personal characteristics that differ between subjects. The specific inclusion criteria relating to diagnosis of PPS and motor abilities at the time of recruitment should be addressed. Also, researchers should provide specific details of orthoses and walking aids used by their subjects and note whether the trial protocol was such that the subject ambulated with their own footwear and aids. Since gait laboratories are equipped with different hardware and software, using different calculation algorithm, and different trial protocols, we believe that following the aforementioned guidelines will reduce the difficulty of comparing results between studies.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest concerning this article.

Acknowledgements

We appreciate the help of Hadassah physiotherapists Asaf Frechtel, Yael Bresler, Yshai Peleg, Adina Forst, and Shira Eisenberg, with the data collection.

2. Version française

2.1. Introduction

Le syndrome post-polio (PPS) est un désordre des neurones moteurs inférieurs qui sévit chez les personnes ayant survécu à une poliomyélite paralytique [12]. Il a lieu après une phase de stabilité « en plateau » de plusieurs dizaines d'années qui suit leur rétablissement des assauts initiaux du virus. Bien que les nouvelles infections de polio soient devenues très rare grâce au programme d'éradication de la maladie initié par l'Organisation mondiale de la santé en 1988, plus de 12 millions de personnes sont actuellement atteintes du PPS. Il a été estimé que jusqu'à 80 % des personnes s'étant remises d'une infection poliomyélitique aigüe se sont plaintes ultérieurement de nouvelles difficultés neuromusculaires [6,25]. Mises à part une détresse psychologique [23] et des douleurs articulaires [24], les principaux symptômes du PPS sont l'affaiblissement progressif des muscles, la fatigue et l'atrophie musculaire [5,6,9,25].

La détérioration des capacités motrices est souvent observée chez les patients PPS [10,25] et c'est principalement au cours d'activités qui demandent de la mobilité que l'impact du handicap est le plus fortement ressenti. Les sujets mobiles

éprouvent des difficultés à monter un escalier, à marcher longuement ou à effectuer des activités quotidiennes usuelles. La prise en charge clinique de patients PPS vise à restaurer la mobilité à l'aide de la physiothérapie, de l'entraînement musculaire (en prenant soin toutefois d'éviter le surmenage), de la correction chirurgicale des déformations articulaires et des dispositifs d'assistance [6,9]. D'après certains spécialistes, l'analyse biomécanique des schémas de marche PPS pourrait contribuer à optimiser la conception d'orthèses destinées aux patients concernés [2,6,20].

La quantification des paramètres de la démarche peut se justifier par la nécessité d'évaluer la démarche caractérisant le patient PPS pour afin d'établir la stratégie de traitement la plus adaptée possible. Des outils fonctionnels fiables, dont le test chronométré « Up & Go », sont régulièrement utilisés dans l'évaluation de la démarche [7]. Malheureusement, la sensibilité de ces outils ne leur permet pas de fournir des quantifications précises des paramètres de cette démarche, et des paramètres quantitatifs spatio-temporels (tels que la symétrie ou le risque de chute que court le patient) sont essentiels à l'évaluation de l'efficacité de la démarche. De tels paramètres sont fréquemment utilisés dans le diagnostic du patient pour déterminer la sévérité de son état et pour prédire et contrôler les résultats d'une intervention [1].

De manière surprenante, il existe très peu de données descriptives de la démarche caractérisant les maladies des neurones moteurs inférieurs, y compris chez les survivants de la polio. En outre, les quelques données disponibles sont généralement dépourvues de descriptions adéquates du groupe PPS étudié, si bien que les discussions des résultats et la comparaison des études sont compromises. La plupart des études de la démarche symptomatique du PPS [1–3,6,13–16,18–21] se distinguent les unes des autres principalement par les critères d'inclusion concernant la démarche et par les types d'orthèses et d'autres aides à la marche utilisées lors des essais. Or de telles informations, si critiques, ne sont même pas rapportées par certaines études. Pour combler ce manque, nous avons cherché à :

- évaluer les différences de caractéristiques et de symétrie de la démarche des patients PPS se déplaçant avec ou sans chaussures orthopédiques et entre différents sous-groupes marchant avec différentes orthèses ou autres formes d'assistance ;
- étudier la corrélation de ces informations avec les données personnelles, la condition médicale, la santé physique, la fréquence d'utilisation d'appareils et d'orthèses et la fréquence de chutes et ;
- en déduire des recommandations visant à la standardisation des procédures de collecte des données descriptives et quantitatives.

En vue d'atteindre ces buts, nous avons considéré deux variables comme étant des indicateurs majeurs de résultats : la démarche soit pieds nus soit chaussée et le type d'orthèse et/ou de dispositif d'aide à la marche. Les paramètres spatio-temporels et la symétrie de la démarche étaient calculés afin de

différencier les groupes et de parvenir à des conclusions concernant l'efficacité des chaussures et la variabilité des schémas de marche lors des différents stades du PPS. Nous avons également tenu compte, en les rapportant aux caractéristiques de la démarche des uns et des autres, de données touchant à la démographie, à l'activité physique, à l'histoire de la polio, aux chutes et aux dispositifs d'assistance.

2.2. Méthodes

2.2.1. Les sujets

Nous avons recruté 26 patients PPS externes, 17 hommes et neuf femmes : âge moyen et écart-type $57 \pm 10,7$ ans ; taille $164,5 \pm 7,4$ cm ; poids $67,8 \pm 10,4$ kg ; âge lors de la maladie initiale $2 \pm 1,6$ ans. Le PPS était vérifié selon les critères de diagnostic clinique de la *March of Dimes* et répondait aux critères du syndrome post-polio d'Halstead [11]. Tous les participants avaient fait preuve d'une capacité fonctionnelle leur permettant de se déplacer avec ou sans appareils d'aide la marche. Nous avons également testé un groupe témoin composé de 16 sujets sains, dix femmes et six hommes : âge $35,9 \pm 11,9$ ans ; taille $169,6 \pm 4,5$ cm. Les essais ont été approuvés par un comité d'Helsinki local (numéro d'agrément 0544-10-HMO). Préalablement à l'essai, chaque patient a lu et signé un formulaire de consentement éclairé.

2.2.2. Le protocole clinique

Nous avons développé un protocole dans lequel les informations spatio-temporelles étaient obtenues par un système de capture de mouvements. Quatre marqueurs passifs reflétant la lumière étaient posés bilatéralement sur la tubérosité calcanéenne et à l'extrémité distale de l'os métatarsien ou sur leur projection vers l'extérieur en cas de port de chaussures. Les mouvements du patient étaient capturés grâce à un système de quatre caméras à une fréquence de 120 Hz. Tous les sujets empruntaient un parcours jalonné d'une longueur de 5,5 m et marchaient à plusieurs reprises à une vitesse choisie et confortable. Par la suite, chaque sujet était encouragé à essayer de marcher si possible sans chaussures, et l'essai était répété. Le sujet portait un harnais de sécurité fixé au plafond dès qu'il éprouvait du mal à maintenir son équilibre pendant qu'il marchait.

Après ces exercices, les sujets remplissaient un questionnaire en apportant des précisions : sexe, âge, taille, poids, âge lors de la première infection de polio, histoire infantile (nombre de membres affaiblis, scoliose, chirurgie orthopédique, aides à la marche), situation matrimoniale, niveau d'études, santé physique, exercice et fréquence d'exercice pendant le mois précédent, marche assistée actuelle, chaussures orthopédiques, utilisation occasionnelle du fauteuil roulant, capacité de déplacement au domicile et en plein air, nombre de chutes à l'intérieur, nombre de chutes à l'extérieur ou dans des escaliers, activités professionnelles de la semaine précédente.

2.2.3. Le traitement des données

Les coordonnées 3D des marqueurs étaient calculées en utilisant un logiciel commercial (Simi Motion, Allemagne). Le

contact initial et la zone des orteils étaient marqués manuellement en utilisant les images vidéo. Un code élaboré indépendamment (Lab View 11, National Instruments, États-Unis) permettait de calculer les paramètres spatio-temporels (Tableau 1–3). Le code effectuait automatiquement le calcul de l'indice de symétrie (IS) en ce qui concerne la durée de pose, d'oscillation et de double appui ainsi que la longueur du pas et l'écartement des pieds selon l'équation suivante [18] :

$$SI[\%] = \frac{X_G - X_D}{\frac{1}{2}(X_G + X_D)} \cdot 100$$

où X_G et X_D sont les valeurs du paramètre spatial ou temporel de la jambe gauche et de la jambe droite respectivement. L'IS s'étend de « 0 » (symétrie complète) à « 200 » (asymétrie).

2.2.4. Les analyses statistiques

Les analyses statistiques étaient effectuées à l'aide du SPSS 13.0 (SPSS Chicago, IL, États-Unis). Le test de Mann-Whitney était utilisé pour évaluer les différences de paramètres spatio-temporels et d'IS entre les groupes PPS dont les réponses au questionnaire n'étaient pas les mêmes. Par la suite, nous avons utilisé le test de Wilcoxon sur deux échantillons rassemblés pour comparer un sous-groupe de 14 patients PPS qui étaient en mesure de répéter les essais de marche chaussée avec ou sans orthèse et aides à la marche (PPS-CHAUS) et qui étaient en mesure de refaire les essais pieds nus (PPS-PINU). La prochaine analyse consistait à comparer les résultats de quatre groupes : les sujets normaux qui marchaient sans chaussures (NORM ; $n = 16$), des patients PPS qui marchaient avec des chaussures avec ou sans orthèse cheville-pied (OCP ; groupe PPS-CHAU ; $n = 11$), des patients PPS qui marchaient avec orthèse genou-cheville-pied (OGCP ; PPS-OGCP ; $n = 5$) et enfin des patients PPS qui marchaient avec non seulement orthèse et chaussures, mais également avec soit un déambulateur, soit des béquilles (PPS-AID ; $n = 10$). Le test de Kruskal-Wallis était conduit afin de comparer les effets sur les données spatio-temporelles et les IS de l'utilisation des chaussures, orthèses et aides à la marche. Enfin, nous avons appliqué le test T2 de Tamhane en vue de déterminer les groupes qui se démarquaient par rapport aux dispositifs d'aide à la marche. $p < 0,05$ était considéré comme statistiquement significatif.

2.3. Résultats

Nous n'avons pas trouvé de différence de paramètres de marche entre les sous-groupes différenciés en termes de sexe (homme ou femme), âge (plus ou moins de 60 ans), indice de masse corporelle ($IMC < 25$ ou $IMC \geq 25$), âge lors de la première infection de polio (< 2 ou ≥ 2 ans), histoire infantile de faiblesse en nombre de membres (les deux jambes atteintes oui ou non), marche assistée pendant l'enfance (oui/non), scoliose lors de la maladie initiale (oui/non), niveau d'études (plus ou moins de 12 ans), situation matrimoniale (marié ou non), perception de santé physique (se sentir oui ou non en bonne santé), exercice pendant le mois précédent (oui/

Tableau 1

Valeurs p du test de Mann-Whitney entre les sous-groupes de sujets syndrome post-polio (PPS) qui différaient en termes de paramètres spatio-temporels et symétrie de démarche. Les sous-groupes étaient répartis en deux groupes selon les critères suivants : chirurgie orthopédique dans l'enfance, utilisation quotidienne d'aides à la marche, participation à une activité physique plus de deux fois par semaine, chute à l'intérieur rapportée dans les six derniers mois, utilisation occasionnelle du fauteuil roulant.

	Chirurgie orthopédique dans l'enfance	Utilisation quotidienne d'aides à la marche	Participation à une activité physique plus de deux fois par semaine	Chute à l'intérieur dans les 6 derniers mois	Utilisation occasionnelle du fauteuil roulant
<i>Vitesse (m/s)</i>	0,148	0,054	0,971	0,016	0,056
<i>Cadence (pas/minute)</i>	0,051	0,033	0,971	0,039	0,280
<i>Données temporelles (s)</i>					
Temps de foulée	0,097	0,028	0,971	0,039	0,251
Temps entre les pas	0,060	0,108	0,971	0,046	0,251
Durée de pose	0,216	0,108	0,971	0,028	0,156
Durée d'oscillation	0,169	0,033	0,857	0,305	0,378
Double appui	0,488	0,196	0,491	0,039	0,199
Simple appui	0,148	0,028	0,801	0,277	0,415
<i>Données temporelles (% CM)</i>					
Temps entre les pas	0,869	0,108	0,227	0,829	0,494
Durée de pose	0,869	0,324	0,914	0,096	0,923
Durée d'oscillation	0,530	0,790	0,325	0,072	0,721
Double appui	0,575	0,700	0,491	0,072	0,626
Simple appui	0,869	0,533	0,403	0,053	0,626
<i>Données spatiales (cm)</i>					
Longueur de foulée	0,621	0,295	0,857	0,039	0,047
Longueur de pas	0,668	0,268	0,971	0,033	0,047
Écartement des pieds	0,006	0,324	0,538	0,053	0,056
<i>Progression de pied (°)</i>	0,003	0,268	1,000	0,403	0,871
<i>SI</i>					
Temps entre les pas	0,818	0,123	0,007	1,000	0,673
Durée de pose	0,303	0,268	0,446	0,516	0,415
Durée d'oscillation	0,668	0,790	0,290	0,781	0,820
Double appui	0,717	0,656	0,030	0,877	0,280
Longueur de pas	0,921	0,929	0,403	0,033	0,923
Écartement des pieds	0,818	0,054	0,914	0,477	0,012

non), chaussures orthopédiques (oui/non), capacité de se déplacer au domicile et en plein air (oui avec ou sans difficulté ou avec appareils/assistance ou incapable de marcher). En revanche, nous avons trouvé une relation entre plusieurs paramètres de démarche spatio-temporels et les sous-groupes définis dans le questionnaire (Tableau 1). Plus précisément, les sujets PPS qui n'utilisaient pas quotidiennement des dispositifs de marche assistée présentaient une cadence de marche significativement plus élevée et un temps de foulée significativement moins important. Mais même si leur vitesse de marche était plus élevée que celle des sujets qui se servaient tous les jours desdits dispositifs (vitesses moyennes respectives de 0,673 m/s et de 0,454 m/s), la différence n'était pas statistiquement significative. Les sujets PPS qui rapportaient leur participation à une activité physique au moins deux fois par semaine présentaient un meilleur temps entre les pas ainsi qu'une meilleure symétrie double appui. Les sujets PPS qui n'avaient pas rapporté de chute à l'intérieur pendant les six mois précédents faisaient preuve d'une vitesse et cadence de marche significativement plus élevées, d'une pose double appui et d'une durée de foulée plus courte, et également d'une

longueur de pas plus grande avec un IS amélioré. Les sujets PPS n'utilisant pas le fauteuil roulant faisaient montre dans leur démarche d'une longueur de pas significativement plus élevée et d'une symétrie moins importante en matière d'écartement des pieds ; une seule personne présentait un IS d'écartement des pieds au-dessus de la normale. Enfin, les sujets PPS qui avaient subi une opération orthopédique pendant leur enfance se déplaçaient à pied avec l'angle de progression du pied au-dessous de la normale et l'écartement des pieds significativement plus important.

Les résultats en termes de variabilité intra-individuelle de 14 patients qui étaient en mesure d'effectuer les essais avec (PPS-CHAUS) et sans (PPS-PINU) leurs chaussures, appareils orthotiques et aides à la marche sont présentés dans la [Tableau 2](#). Bien que la vitesse moyenne de marche augmente de 0,59 m/s (PPS-PINU) jusqu'à 0,65 (PPS-CHAUS), la différence n'est pas statistiquement significative ($p = 0,572$; [Tableau 2](#)). Et parmi les 14 sujets PPS, neuf seulement marchaient plus rapidement lorsqu'ils étaient chaussés ou utilisaient des orthèses. Un résultat similaire a été obtenu en ce qui concerne l'augmentation de la longueur moyenne de foulée

Tableau 2

Données spatio-temporelles et indice de symétrie (IS) de 14 patients syndrome post-polio (PPS) marchant pieds nus (PPS-PINU) et marchant avec leurs orthèses usuelles de chaussures avec ou sans OCP ou OGCP (PPS-CHAUS). Les résultats du test de Wilcoxon sur deux échantillons rassemblés sont présentés.

	PPS-PINU	PPS-CHAUS	Z	Valeur de <i>p</i>
<i>Vitesse (m/s)</i>	0,59 (0,19) ; 0,2–0,86	0,65 (0,21) ; 0,3–0,98	–0,565	0,572
<i>Cadence (pas/minute)</i>	91,1 (11,5) ; 67,9–108,8	90,7 (10,7) ; 75–110,8	–0,031	0,975
<i>Données temporelles (s)</i>				
Temps de foulée	1,36 (0,18) ; 1,11–1,79	1,34 (0,16) ; 1,1–1,6	–0,420	0,675
Temps entre les pas	0,67 (0,09) ; 0,55–0,89	0,67 (0,08) ; 0,54–0,8	–0,157	0,875
Durée de pose	0,92 (0,17) ; 0,73–1,4	0,91 (0,11) ; 0,75–1,06	–0,455	0,649
Durée d'oscillation	0,44 (0,08) ; 0,32–0,61	0,43 (0,08) ; 0,35–0,61	–0,189	0,850
Double appui	0,24 (0,11) ; 0,13–0,56	0,24 (0,06) ; 0,14–0,33	–0,189	0,850
Simple appui	0,44 (0,09) ; 0,33–0,65	0,44 (0,08) ; 0,36–0,61	–0,140	0,889
<i>Données temporelles (% CM)</i>				
Temps entre les pas	68,8 (5,0) ; 60,8–77,8	68,5 (3,7) ; 61,4–73,8	–0,282	0,778
Durée de pose	32,4 (5,2) ; 22,2–39,2	32,3 (3,7) ; 26,2–38,6	–0,031	0,975
Durée d'oscillation	17,8 (6,0) ; 8,6–31,1	17,7 (3,7) ; 11,5–24,1	–0,094	0,925
Double appui	32,4 (6,2) ; 19,0–43,3	32,6 (3,8) ; 25,2–38,5	–0,031	0,975
<i>Données spatiales (cm)</i>				
Simple appui	77,5 (20,9) ; 40,3–102,8	85,1 (24,5) ; 41,0–120,4	–1,412	0,158
Longueur de foulée	38,2 (10,8) ; 17,9–50,3	42,4 (12,2) ; 20,8–59,9	–1,413	0,158
Longueur de pas	18,2 (5,3) ; 11,3–27,4	17,3 (7,3) ; 6,3–29,3	–0,408	0,683
<i>Progression de pied (°)</i>	11,6 (12,2) ; –4,7–32,7	8,5 (10,7) ; –8,9–23,9	–1,036	0,300
<i>SI</i>				
Temps entre les pas	20,1 (8,8) ; 1,9–32,4	13,2 (7,1) ; 1,1–28,3	–1,852	0,064
Durée de pose	14,6 (6,1) ; 6,3–27,5	10,7 (5,7) ; 3–22	–1,664	0,096
Durée d'oscillation	34,4 (12,9) ; 13,8–53,7	20,7 (13,7) ; 5,3–48,2	–2,668	0,008
Double appui	26,4 (19,9) ; 2,2–71,4	24,9 (16,5) ; 6,5–54,3	–0,282	0,778
Longueur de pas	30,9 (29,0) ; 1,8–108,6	23,0 (14,1) ; 1,6–43,4	–0,973	0,331
Écartement des pieds	9,4 (7,8) ; 0,1–28,6	16,1 (13,9) ; 0,4–51,1	–1,538	0,124

de 77,5 cm (PPS-PINU) jusqu'à 85,1 cm (PPS-CHAUS) (Tableau 2). Bien que la longueur de foulée de 11 sujets augmente, les résultats étaient insignifiants ($p = 0,158$). Un exemple typique de la différence de longueur de pas lors de déplacements pieds nus, avec chaussures et avec orthèse apparaît sur la Fig. 1. Dans cette figure, les images sagittales d'une patiente PPS de 43 ans qui marchait sans chaussures (Fig. 1a), avec chaussures orthopédiques (Fig. 1b) et avec OGCP (Fig. 1c) sont présentées au moment de l'impact du talon du pied droit. Lorsqu'elle se déplaçait sans chaussures la longueur de son pas était restreinte, et le genu recurvatum pouvait être aperçu. Lorsqu'elle marchait avec ses chaussures orthopédiques, la longueur de son pas augmentait de 11,8 cm, et lorsqu'elle utilisait l'OGCP, l'hyperextension de son genou était évitée ; cela dit, le port de l'orthèse imposait une réduction de la longueur du pas qui n'excédait alors que de 3,6 cm la longueur du pas enregistrée lors de la marche sans chaussures. Tous les IS temporels accusaient une baisse dès que des chaussures et des orthèses étaient utilisées dans les essais (Tableau 2). La baisse de l'IS de la durée d'oscillation était statistiquement significative ($p < 0,01$).

C'est en comparant les caractéristiques de la démarche des patients PPS se déplaçant avec chaussures, sans ou avec OCP (PPS-CHAUS), avec chaussures et OGCP (PPS-OGCP) avec chaussures, orthèse et soit un déambulateur soit des béquilles

(PPS-AID), ou marchant normalement (NORM), que nous avons pu constater des différences significatives en ce qui concerne la plupart des paramètres spatio-temporels et des IS (Tableau 3). De manière attendue, la démarche normale se caractérisait par une vitesse et une cadence accrue, une durée de pose écourtée, et des foulées et des pas d'une longueur plus élevée. Ces paramètres différaient statistiquement lorsqu'on comparait le groupe NORM aux trois groupes PPS (Tableau 3). Parmi les autres caractéristiques de la démarche normale figuraient un moindre écartement des pieds, une durée plus longue d'appui simple et un meilleur IS, mais la signification statistique était interchangeable par rapport à l'un ou deux des groupes PPS (Tableau 3).

Comparé au groupe PPS-OGCP, les patients du groupe PPS-CHAUS marchaient avec un moindre écartement des pieds et une meilleure symétrie dans la pose et la durée d'oscillation. Ils faisaient également preuve d'une vitesse et d'une cadence plus élevées, d'une foulée et d'une durée d'appui simple plus longues, mais ces résultats n'atteignaient pas le seuil de signification statistique (Tableau 3).

Quant au groupe PPS-AID, il était caractérisé par la vitesse la plus réduite, une cadence ralentie, une durée plus longue de foulée, de pose et de double appui, une durée plus courte d'oscillation et de simple appui, une longueur de pas restreinte et des IS élevés. Dans ce groupe, la variabilité et l'étendue des IS étaient particulièrement élevées.

Tableau 3

Données spatio-temporelles et indice de symétrie (IS) de patients PPS marchant avec des chaussures et avec ou sans OCP (PPS-CHAUS), avec OGCP (PPS-OGCP) et aides (PPS-AIDS) comparativement à une démarche normale (NORM). Les résultats du test Krsuskal-Wallis avec le test T2 de Tamhane sont présentés.

	PPS-CHAUS (n = 11)	PPS-OGCP (n = 5)	PPS-AID (n = 10)	NORM (n = 16)	Valeur de p
<i>Vitesse (m/s)</i>	0,74 (0,14) ; 0,44–0,98 ^{c,d}	0,42 (0,17) ; 0,3–0,72 ^d	0,3 (0,26) ; 0,05–0,89 ^{a,d}	1,09 (0,15) ; 0,8–1,31 ^{a,b,c}	0,000
<i>Cadence (pas/minute)</i>	91,7 (11,7) ; 75–110,8 ^{c,d}	83,3 (8,4) ; 70,4–92,7 ^{c,d}	50,0 (23,5) ; 11,1–90,3 ^{a,b,d}	106,8 (9,0) ; 90,4–121,6 ^{a,b,c}	0,000
<i>Données temporelles (s)</i>					
Temps de foulée	1,33 (0,17) ; 1,1–1,6 ^d	1,45 (0,17) ; 1,3–1,73	3,4 (2,9) ; 1,3–11,1	1,1 (0,1) ; 1–1,3 ^a	0,000
Temps entre les pas	0,66 (0,09) ; 0,54–0,8 ^d	0,73 (0,08) ; 0,65–0,85 ^d	1,67 (1,41) ; 0,67–5,43	0,56 (0,05) ; 0,49–0,66 ^{a,b}	0,000
Durée de pose	0,88 (0,11) ; 0,75–1,05 ^d	1,03 (0,16) ; 0,87–1,28 ^d	2,69 (2,7) ; 0,77–9,84	0,69 (0,07) ; 0,59–0,85 ^{a,b}	0,000
Durée d'oscillation	0,45 (0,08) ; 0,35–0,61 ^c	0,42 (0,07) ; 0,36–0,53 ^c	0,72 (0,23) ; 0,52–1,31 ^{a,b,c}	0,43 (0,04) ; 0,34–0,51 ^c	0,000
Double appui	0,21 (0,04) ; 0,14–0,29 ^d	0,31 (0,09) ; 0,17–0,43	0,99 (1,19) ; 0,11–4,03	0,13 (0,03) ; 0,09–0,18 ^a	0,000
Simple appui	0,45 (0,08) ; 0,36–0,61 ^c	0,42 (0,07) ; 0,36–0,53 ^c	0,72 (0,23) ; 0,52–1,31 ^{a,b,d}	0,43 (0,04) ; 0,34–0,51 ^c	0,000
<i>Données temporelles (% CM)</i>					
Temps entre les pas	67,4 (3,4) ; 61,4–72,8 ^d	71,7 (2,9) ; 66,9–74,1 ^d	74,3 (7,5) ; 65–88 ^d	61,8 (1,7) ; 59,1–65,5 ^{a,b,c}	0,000
Durée de pose	33,6 (3,0) ; 30,1–38,6 ^d	29,1 (4,7) ; 25,9–37,3	27,0 (8,9) ; 12–39,9 ^d	38,2 (1,7) ; 34,6–40,9 ^{a,c}	0,000
Durée d'oscillation	16,4 (3,0) ; 11,5–21,3 ^d	20,4 (5,7) ; 10,7–24,6	25,2 (11,3) ; 10,1–46,5 ^d	11,7 (1,7) ; 8,75–14,64 ^{a,c}	0,000
Double appui	34,0 (2,7) ; 30,4–38,5 ^d	29,3 (5,5) ; 25,2–38,8	26,4 (8,7) ; 11,6–38,2 ^d	38,1 (2,0) ; 34,6–41,5 ^{a,c}	0,000
<i>Données spatiales (cm)</i>					
Simple appui	95,6 (14,7) ; 68,4–120,4 ^d	61,2 (23,9) ; 41,0–101,3 ^d	65,6 (27,5) ; 33,1–116,8 ^d	123,0 (10,9) ; 107,0–144,1 ^{a,b,c}	0,000
Longueur de foulée	47,6 (7,5) ; 33,1–59,9 ^{c,d}	30,6 (12,1) ; 20,8–51,1 ^d	31,6 (14,2) ; 18,2–59,4 ^{a,d}	60,8 (5,0) ; 53,2–69,4 ^{a,b,c}	0,000
Longueur de pas	14,9 (6,2) ; 6,3–27,5 ^b	24,3 (4,5) ; 17,3–29,3 ^{a,d}	21,1 (9,4) ; 5,6–35,7 ^d	10,6 (3,3) ; 6,5–20,1 ^{b,c}	0,001
<i>Progression de pied (°)</i>	10,8 (9,5) ; –4,9–23,9	5,5 (12,1) ; –8,9–18,3	7,1 (10,3) ; –10,9–26,1	6,5 (3,2) ; 1,2–13,3	0,447
<i>SI</i>					
Temps entre les pas	11,5 (5,6) ; 1,1–21,3 ^d	19,4 (12,2) ; 5,2–33,6	61,3 (62,3) ; 4,2–219,7	4,1 (2,8) ; 0,2–11,2 ^a	0,000
Durée de pose	9,2 (5,3) ; 3,0–22,0 ^{b,d}	17,7 (3,9) ; 12,4–23,3 ^{a,d}	11,8 (12,2) ; 0,1–38	2,6 (1,6) ; 0,5–6,8 ^{a,b}	0,000
Durée d'oscillation	14,8 (7,3) ; 5,3–26 ^{b,d}	46,2 (8,4) ; 36,8–59,3 ^{a,d}	36,5 (42,1) ; 9,5–151,6	4,0 (3,6) ; 0,7–11,8 ^{a,b}	0,000
Double appui	27,3 (17,6) ; 6,5–54,3	22,0 (12,4) ; 11,2–41,5	121,2 (143,7) ; 5–450,6	10,9 (9,6) ; 0–36,1	0,001
Longueur de pas	22,0 (15,0) ; 1,6–43,4 ^d	20,2 (13,1) ; 4,2–39,5	117,3 (145,8) ; 0,4–481,5	5,1 (4,2) ; 0,1–13,4 ^a	0,000
Écartement des pieds	19,3 (13,9) ; 3,2–51,1	7,7 (6,9) ; 0,4–17,5	13,3 (7,4) ; 1,3–25,6	16,8 (15,8) ; 0,6–52,8	0,347

PPS : post-polio syndrome ; CM : cycle de marche ; OCP : orthèse cheville-pied ; OGCP : orthèse genou-cheville-pied ; SI : indice de symétrie.

^a Différence statistiquement significative comparativement à PPS-CHAUS.

^b Différence statistiquement significative comparativement à PPS-OGCP.

^c Différence statistiquement significative comparativement à PPS-AID.

^d Différence statistiquement significative comparativement à NORM.

2.4. Discussion

Les patients PPS présentent des capacités fonctionnelles réduites, ce qui s'explique principalement par leur démarche déficiente. En complément aux examens fonctionnels, cliniques et électro-physiologiques usuels, l'analyse informatique comparative de la démarche jette un nouvel éclairage sur le degré de maîtrise du patient sur son fonctionnement moteur. Dans cette étude, nous avons comparé entre elles et par rapport à des sujets normaux les données spatio-temporelles et les indices de symétrie de patients PPS se déplaçant pieds nus, chaussés et avec des orthèses. L'exploration des différents résultats est devenue nécessaire à cause du manque d'informations descriptives sur la démarche des patients PPS et, de manière encore plus handicapante, à cause de l'absence d'uniformité dans la communication des caractéristiques personnelles des groupes suivis et des conditions expérimentales, ce qui a rendu problématiques les conclusions des comparaisons effectuées entre les différentes études de la démarche observée chez les patients PPS.

Dans notre étude, le schéma de marche des sujets PPS n'était pas associé au sexe, à l'âge, à l'IMC, au niveau d'études ou à la

situation matrimoniale. En outre, mise à part l'association avec les opérations orthopédiques ayant eu lieu pendant l'enfance, aucune corrélation n'était trouvée entre les caractéristiques de la démarche actuelle et l'histoire médicale des sujets. L'enfance de la plupart d'entre eux (76,9 %) avait été marquée par la chirurgie orthopédique corrective et en marchant, ils présentaient un angle de progression du pied significativement au-dessous de la normale et un écartement des pieds significativement au-dessus de la normale. Ce constat pourrait amener à supposer que l'altération de la longueur du tendon aux articulations de cheville et l'arthrodèse cheville/pied avaient provoqué l'altération du mécanisme biomécanique de la progression cheville/pied, ce qui aurait contraint le sujet à augmenter l'écartement de ses pieds afin de maintenir la stabilité et de compenser l'absence de bascule biomécanique.

La santé physique des patients PPS déteint sur leurs activités quotidiennes et leur vie sociale [26]. Dans cette étude, nous avons pu constater que les sujets faisant état de leur participation à une activité physique au moins deux fois par semaine présentaient des résultats significativement meilleurs en termes de temps entre les pas et de symétrie double appui, c'est-à-dire un IS plus bas. Nous avons montré que la symétrie

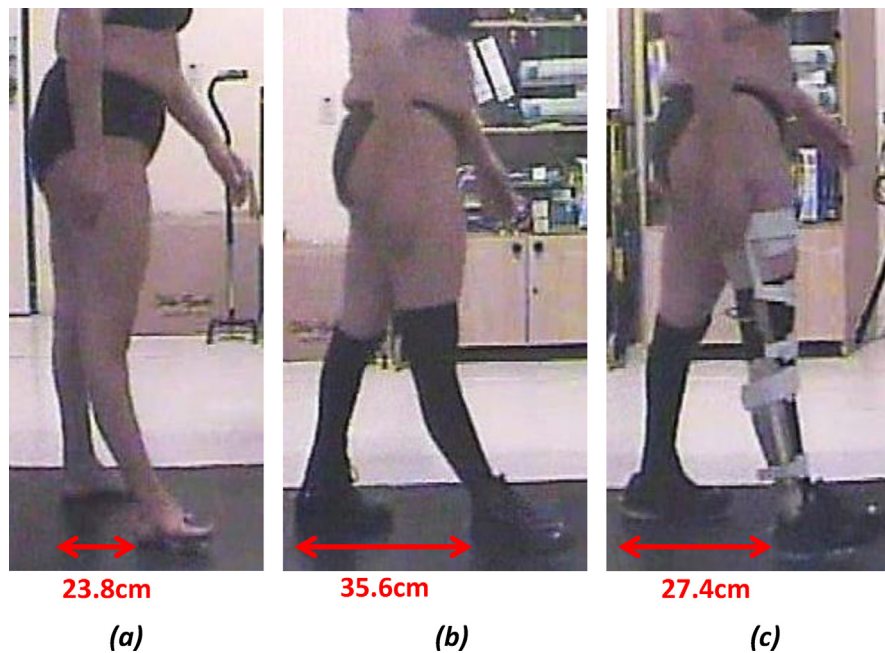


Fig. 1. Images sagittales d'une patiente PPS de 43 ans se déplaçant (a) sans chaussures, (b) avec chaussures orthopédiques et (c) avec OGCP. Les photographies étaient prises au moment d'impact du talon du pied droit. La longueur des pas est calculée selon l'algorithme décrit dans la section 2.3.1.

de la démarche et sa durée en double appui seraient les variables les plus fortement associées à la prédiction de chutes multiples, et nous avons également observé une corrélation entre d'une part les chutes à domicile lors des six mois précédents et d'autre part la vitesse et la cadence significativement minorées, la pose de double appui et le pas d'une durée majorée, la longueur de pas moins élevée et l'IS de la longueur de pas plus élevé, ce qui indique l'asymétrie élevée. De tels résultats amènent à supposer que les patients PPS victimes de chutes ralentissent le rythme de leur marche et maintiennent le double appui plus longtemps en parcourant des distances incertaines ; ils sont également susceptibles d'utiliser des aides à la marche afin de maintenir leur stabilité et de diminuer le risque de tomber. De telles précautions concourraient à rabaisser la vitesse de leur mouvement en avant au fur et à mesure que la longueur de leur pas serait rétrécie.

Des aides à la marche et des chaussures orthopédiques font partie intégrante de la vie du patient PPS. La détérioration de sa condition motrice nécessite l'utilisation accrue d'appareils et d'orthèse. Bien que les symptômes du syndrome varient d'une personne à l'autre, ils sont essentiellement composés d'un affaiblissement musculaire progressif qui concerne tout particulièrement mais pas exclusivement les muscles atteints lors des assauts initiaux du virus. Cette condition amoindrit la maîtrise qu'a le patient de ses articulations. Suite à cette première étape de manifestation des symptômes, le patient tend à adopter des mécanismes en matière de motricité qui compensent l'affaiblissement musculaire et lui permettent de poursuivre ses activités quotidiennes. Puisque l'asymétrie de la démarche fait désormais partie de la vie du patient PPS, elle impose l'altération de l'impact du poids du corps sur les articulations, altération provoquée par l'instabilité de celles-ci et aggravée par le support prolongé de ce poids par un côté. Des

changements biomécaniques pourraient également contribuer à la survenue de douleurs articulaires. Allant de pair avec les douleurs musculaires faisant partie du PPS, une démarche antalgique est monnaie courante et retentit sur le schéma de marche. À ce stade, la majorité des patients ont besoin de nouvelles aides à la marche et/ou d'orthèses qu'ils utiliseront tous les jours. De tels appareils parviendront normalement à restaurer la stabilité articulaire, ce qui soulagera la douleur et permettra au patient de traverser des distances plus longues sans se fatiguer ou souffrir de nouveau.

Dans notre étude nous avons pu constater que les sujets se servant quotidiennement d'aides à la marche (69,2 %) faisaient preuve d'une cadence de marche significativement plus élevée et d'un temps de foulée significativement réduit. En revanche, les paramètres de leur vitesse de marche et de leur démarche spatiale ne différaient pas de manière significative de ceux rapportés chez des sujets n'utilisant pas quotidiennement de telles aides. Cela dit, la vitesse de marche était bel et bien moins élevée chez les sujets utilisant ces aides. Dans la tentative de maintenir leur vitesse, les patients PPS qui dépendent d'appareils auront tendance à augmenter leur cadence. Lors des stades évolutifs du PPS le patient sera moins en mesure de marcher de manière autonome sans se fatiguer et finira par recourir au fauteuil roulant. Dans notre étude qui n'incluait pourtant que des personnes ayant retenu leurs capacités fonctionnelles de marche avec ou sans aides, 26,1 % des sujets faisaient état de leur utilisation occasionnelle du fauteuil roulant. Puisque leur condition physique s'était détériorée, la longueur de leurs pas avait significativement baissé.

Dans nos comparaisons des démarches caractérisant les patients PPS se déplaçant avec leurs chaussures ou orthèses usuelles ou marchant pieds nus, exception faite de l'IS de durée d'oscillation, qui s'améliorait en marche chaussée (Tableau 1),

nous n'avons pas observé de différence statistiquement significative. Bien que la plupart des sujets marche plus rapidement et avec une foulée plus longue en marche chaussée, les résultats ne sont pas statistiquement significatifs. De tels résultats amènent à croire que le patient PPS tendrait à adopter un schéma de marche lui permettant de compenser de manière optimale l'affaiblissement et l'atrophie musculaires, ce qui rendrait possible un certain confort dans ses déplacements et expliquerait pourquoi, en cas d'enlèvement des chaussures ou des orthèses, les caractéristiques de la démarche n'en sont que légèrement modifiées. Une telle conclusion ne laisse pourtant pas entendre que le schéma de marche du patient PPS ne peut pas être modifié en remplaçant les orthèses ou les autres appareils par de nouvelles aides, lesquelles demanderont un temps d'adaptation pour que le patient se familiarise avec les restrictions ou les options qu'elles apporteront.

Des aides à la marche et des orthèses sont prescrites aux patients PPS afin d'améliorer l'équilibre pendant la phase de pose des pieds et d'assurer leur enlèvement pendant la phase d'oscillation de manière à minimiser le risque de chute. De telles aides permettent également d'améliorer l'endurance, de soulager la douleur et d'éviter une nouvelle détérioration articulaire [8]. Quant à l'utilisation de chaussures orthopédiques, des OCP, des OGCP, des béquilles et des déambulateurs, elle modifie le schéma de marche en contrôlant les propriétés d'interaction entre la chaussure et le sol ou en réduisant l'amplitude de mouvement des articulations des chevilles et des genoux. En somme, ces stratégies de compensation peuvent permettre aux patients de tirer le meilleur parti de leurs capacités résiduelles et de conserver leur mobilité, cependant qu'à long terme, elles sont susceptibles de contribuer à la dégénérescence articulaire [8].

Nous avons observé que comparativement à un schéma de marche normal, la variabilité PPS inter-sujet était particulièrement grande et que des différences significatives étaient évidentes dans la majorité des IS et des paramètres spatio-temporels (Tableau 3). D'après nos résultats, la démarche du patient PPS se caractérise par une vitesse et une cadence ralenties, une pose dont la durée se prolonge et une longueur de pas moins élevée. Le prolongement de la durée de pose (valeur moyenne normale : 61,8 %) à des valeurs moyennes respectives de 67,4 %, de 71,7 % et de 74,3 % pour le PPS-CHAUS, le PPS-OGCP et le PPS-AID s'accompagnait de la réduction de la durée d'oscillation et de simple appui et de l'augmentation de la durée de double appui (Tableau 3). Ces données temporelles amènent à croire qu'en faisant basculer leur jambe en avant, les sujets se sont sentis déséquilibrés, ce qui les faisait transférer à l'autre jambe l'intégralité du poids de leur corps. Cette insécurité va de pair avec la faiblesse des muscles qui contrôlent la posture corporelle et la stabilité articulaire pendant les activités entraînant le support du poids ; de cette manière-là, ils préviennent et évitent la chute.

Les patients qui marchaient avec des chaussures (avec ou sans OCP) présentaient un écartement des pieds moins important ainsi qu'une meilleure symétrie en matière de pose et de durée d'oscillation comparativement aux patients qui se déplaçaient avec des OGCP (Tableau 3). L'OGCP en position

bloquée est généralement prescrite pour des patients dont l'évolution des symptômes a affaibli les extenseurs du genou, d'une part, ce dispositif est essentiel à la stabilisation de celui-ci, d'autre part, les manœuvres faisant appel au genou unilatéralement bloqué ne manquent pas de rendre la démarche asymétrique. À ce propos, nous présentons un exemple visuel de l'impact des chaussures et de l'OGCP sur la longueur du pas et l'angle du genou chez un patient PPS (Fig. 1) qui avait utilisé l'OGCP en vue de réaligner le fémur et le tibia. Ce réaligement d'un segment d'un membre risque d'avoir des effets néfastes dans la mesure où certaines déformations et compensations du sujet concourent à produire une démarche fonctionnelle [8]. Et de toute manière, cet exemple montre que la prescription d'un certain type d'orthèse et l'ajustement de ses paramètres de fonctionnement peuvent avoir des répercussions critiques sur le schéma de marche du patient. Globalement parlant, la plupart des orthèses prescrites pour ce public sont des OGCP, et on a vu que ces appareils sont conçus en vue d'immobiliser l'articulation déstabilisée du genou [8], ce qui renforce sa stabilité en pleine marche. Évidemment, pendant l'oscillation le patient ne peut pas fléchir son genou, ce qui occasionne des tentatives compensatoires sous forme de circumduction, de saut, d'élévation de la hanche ou d'une combinaison des trois. Quant à l'orthèse de contrôle postural (OCP), elle bloque le genou pendant qu'il supporte le poids du corps et le débloque dès qu'il ne supporte pas ce poids. Certaines études ont montré que des patients PPS marchent plus rapidement à l'aide de l'OCP qu'en se servant de l'OGCP en position bloquée [17].

Les patients PPS dont la condition nécessite non seulement des chaussures orthopédiques et/ou des orthèses mais aussi un déambulateur ou des béquilles sont ceux dont la démarche est maximale atteinte et restreinte par la détérioration. Ce qui explique pourquoi la démarche des sujets ayant participé à notre étude se caractérisait par une vitesse extrêmement ralentie, une cadence également lente, une durée longue de foulée, de pose et de double appui, une durée courte d'oscillation et de simple appui, une longueur de pas réduite et des IS élevés. Chez les PPS-AID la variabilité et l'étendue des IS étaient particulièrement élevées.

La limitation principale de cette étude concernait la petite taille du groupe-échantillon ; nous n'en étions pas moins en mesure de faire ressortir des différences de schéma de marche non seulement par rapport à une démarche normale, ce qui était évident, mais également entre les sous-groupes se déplaçant avec les orthèses parmi d'autres aides. L'étude d'une population plus nombreuse, dans laquelle les patients PPS seraient répartis dans des groupes en fonction de types d'appareils plus spécifiques, jetterait un éclairage supplémentaire sur les conséquences de la prescription de telle orthèse ou tel dispositif. Cela dit, les données que nous venons de présenter pourraient déjà constituer les bases de la compréhension de certains facteurs qui associeraient les paramètres spatio-temporels, la symétrie de la démarche et l'évolution du PPS. Une dernière limitation provient du fait que les mesures prises en une journée peuvent ne pas être suffisamment représentatives du schéma de marche global.

Suite aux conclusions avancées dans cet article, nous préconisons la standardisation de la procédure pour rapporter les informations ayant trait à la démarche des patients PPS. Puisque les études ont tendance à recruter de petits groupes PPS qui présentent, comme nous venons de le montrer, une grande variabilité inter-sujet, il importe de faire ressortir toutes les caractéristiques personnelles qui différencient les sujets. La spécificité des critères d'inclusion concernant le diagnostic de PPS et les capacités motrices au moment du recrutement doivent être étudiées de près. En outre, les chercheurs devraient donner des détails précis sur les orthèses et d'autres aides à la marche qui sont utilisées par leurs sujets tout en indiquant si oui ou non le protocole de leurs études prévoyait les déplacements des patients avec leurs propres chaussures et aides. Et puisque les laboratoires pertinents sont équipés avec des instruments informatiques divers et utilisent des algorithmes de calcul et des procédures d'étude différents, nous sommes persuadés que la mise en œuvre des lignes directrices que nous venons d'esquisser devrait rendre moins problématique la comparaison des résultats des différentes études.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Remerciements

Nous apprécions l'aide au recueil des informations des physiothérapeutes de l'Hadassah Asel Frechtel, Yael Bresler, Yshai Peleg, Adina Forst et Shira Eisenberg.

References

- [1] Baker R. Gait analysis methods in rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil* 2006;3:4–13.
- [2] Brehm MA, Beelen A, Doorenbosch CA, Harlaar J, Nollet F. Effect of carbon-composite knee-ankle-foot orthoses on walking efficiency and gait in former polio patients. *J Rehabil Med* 2007;39:651–7.
- [3] Brehm MA, Nollet F, Harlaar J. Energy demands of walking in persons with postpoliomyelitis syndrome: relationship with muscle strength and reproducibility. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87:136–40.
- [4] Cuaya G, Muñoz-Meléndez A, Carrera LN, Morales EF, Quiñones I, Pérez AI, et al. A dynamic Bayesian network for estimating the risk of falls from real gait data. *Med Biol Eng Comput* 2012;51:29–37.
- [5] Dalakas MC. The post-polio syndrome as an evolved clinical entity. Definition and clinical description. *Ann N Y Acad Sci* 1995;753:68–80.
- [6] Farbu E. Update on current and emerging treatment options for post-polio syndrome. *Ther Clin Risk Manage* 2010;6:307–13.
- [7] Flansbjerg UB, Lexell J. Reliability of gait performance tests in individuals with late effects of polio. *PMR* 2010;2:125–31.
- [8] Genêt F, Schnitzler A, Mathieu S, Autret K, Théfenne L, Dizien O, et al. Orthotic devices and gait in polio patients. *Ann Phys Rehabil Med* 2010;53:51–9.
- [9] Gonzalez H, Olsson T, Borg K. Management of postpolio syndrome. *Lancet Neurol* 2010;9:634–42.
- [10] Grimby G, Jönsson AL. Disability in poliomyelitis sequelae. *Phys Ther* 1994;74:415–24.
- [11] Halstead LS. Assessment and differential diagnosis for post-polio syndrome. *Orthopedics* 1991;14:1209–17.
- [12] Halstead LS, Rossi CD. New problems in old polio patients: results of a survey of 539 polio survivors. *Orthopedics* 1985;8:845–50.
- [13] Hill K, Schwarz J, Flicker L, Carroll S. Falls among healthy, community-dwelling, older women: a prospective study of frequency, circumstances, consequences and prediction accuracy. *Aust N Z J Public Health* 1999;23:41–8.
- [14] Horemans HL, Beelen A, Nollet F, Lankhorst GJ. Reproducibility of walking at self-preferred and maximal speed in patients with postpoliomyelitis syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:1929–32.
- [15] Horemans HL, Bussmann JB, Beelen A, Stam HJ, Nollet F. Walking in postpoliomyelitis syndrome: the relationships between time-scored tests, walking in daily life and perceived mobility problems. *J Rehabil Med* 2005;37:142–6.
- [16] Hurmuzlu Y, Basdogan C, Stoianovici D. Kinematics and dynamic stability of the locomotion of post-polio patients. *J Biomech Eng* 1996;118:405–11.
- [17] Hwang S, Kang S, Cho K, Kim Y. Biomechanical effect of electromechanical knee-ankle-foot-orthosis on knee joint control in patients with poliomyelitis. *Med Biol Eng Comput* 2008;46:541–9.
- [18] Kim CM, Eng JJ. Symmetry in vertical ground reaction force is accompanied by symmetry in temporal but not distance variables of gait in persons with stroke. *Gait Posture* 2003;18:23–8.
- [19] Lehmann K, Sunnerhagen KS, Willén C. Postural control in persons with late effects of polio. *Acta Neurol Scand* 2006;113:55–61.
- [20] Perry J, Clark D. Biomechanical abnormalities of post-polio patients and the implications for orthotic management. *Neurorehabilitation* 1997;8:119–38.
- [21] Perry J, Mulroy SJ, Renwick SE. The relationship of lower extremity strength and gait parameters in patients with post-polio syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 1993;74:165–9.
- [22] Senden R, Savelberg HH, Grimm B, Heyligers IC, Meijer K. Accelerometry-based gait analysis, an additional objective approach to screen subjects at risk for falling. *Gait Posture* 2012;36:296–300.
- [23] Shiri S, Wexler ID, Feintuch U, Meiner Z, Schwartz I. Post-polio syndrome: impact of hope on quality of life. *Disabil Rehabil* 2012;34:824–30.
- [24] Stoelb BL, Carter GT, Abresch RT, Purekal S, McDonald CM, Jensen MP. Pain in persons with postpolio syndrome: frequency, intensity, and impact. *Arch Phys Med Rehabil* 2008;89:1933–40.
- [25] Trojan DA, Cashman NR. Post-poliomyelitis syndrome. *Muscle Nerve* 2005;31:6–19.
- [26] Willén C, Thorén-Jönsson AL, Grimby G, Sunnerhagen KS. Disability in a 4-year follow-up study of people with post-polio syndrome. *J Rehabil Med* 2007;39:175–80.